

О. Г. Голуб, директор департаменту з розробки родовищ та дослідження свердловин, olegprgp@mail.ru,

О. Ю. Приходченко, начальник загону промислово-геологічних досліджень свердловин, alex.prihodchenko@ukr.net,

Р. Б. Дворецький, начальник загону з вивчення пластових систем, складання проектів розробки та ТЕО, dvoreckiiroman@mail.ru
(ДП “Укрнаукагеоцентр”, м. Полтава, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ СВЕРДЛОВИН НА НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ ФІЛЬТРАЦІЇ, ЩО РОЗКРИЛИ ПОКЛАДИ УЩІЛЬНЕНИХ КОЛЕКТОРІВ

Розглядається недосконалість наявних методик обробки результатів досліджень на нестационарних режимах фільтрації та особливості дослідження газоносних ущільнених колекторів.

Ключові слова: свердловина, дослідження, газ, родовище, тиск, пласт.

Вуглеводнева сировина, що об'єднує нафту, газ і конденсат, на сучасному етапі розвитку людського суспільства є найважливішим і найпрогресивнішим різновидом мінерально-енергетичних ресурсів.

Важливим завданням у практиці геологорозвідувальних робіт є оцінка промислового значення ресурсів нафти й газу у відкритих родовищах та їх ефективне використання. Останнє передбачає проектування відповідних систем розробки з кінцевою метою – вилучення з надр максимальної кількості вуглеводневих сполук з мінімальними затратами.

Для отримання достовірної вихідної інформації для підрахунку запасів вуглеводнів, техніко-економічного обґрунтування коефіцієнтів нафто-, газо-, конденсатовилучення, складання проектів дослідно-промислової розробки, вибору технологічного режиму експлуатації свердловин, аналізу й контролю за процесами розробки родовища, а також виявлення чинників, що впливають на продуктивну характеристику та умови експлуатації свердловин

і родовища загалом, обов'язково повинен проводитися комплекс початкових і поточних досліджень свердловин.

Для виконання цих завдань, поряд з геологічними підрозділами підприємства, адміністрація ДП “Укрнаукагеоцентр” прийняла рішення про створення департаменту з розробки родовищ і дослідження свердловин. До складу департаменту входять партія з випробування, дослідження свердловин, моделювання пластових вуглеводневих систем, складання проектів ДПР, розробки і ТЕО та комплексна аналітична лабораторія з вивчення колекторських властивостей порід, вод, нафти, газу, конденсату, тампонажних і бурових розчинів.

Департамент забезпечений усім сучасним технологічним і лабораторним обладнанням, яке сертифіковане, пройшло відповідні технічні експертизи та використовується для проведення повного комплексу досліджень нафтових, газових, газоконденсатних свердловин та їх вуглеводневої продукції.

Замовниками робіт є підприємства як державної, так і приватної форм власності. Департамент постійно розвиває напрями робіт, працівники підвищують свою кваліфікацію, збільшуючи обсяги виконаних робіт. Це дає можливість стабільно та впевнено працювати, володіти ситуацією у всіх нафтогазопромислових регіонах України, зокрема на шельфах Азовського та Чорного морів.

Проведення досліджень свердловин та їх продукції на початкових стадіях розробки покладів родовища є обов'язковим і носить разовий характер, направлений на отримання ключової інформації про: початкові величини тиску й температури в покладах, статичні тиски на гирлі свердловин, статичні рівні рідини, фільтраційно-ємнісні властивості пластів-колекторів, газові фактори для нафтових і конденсатні – для газоконденсатних свердловин, умови руйнування привибійної зони пласта та інтенсивність руйнування породи.

Вид, обсяги і періодичність газогідродинамічних досліджень залежать від категорії свердловин і способу їх експлуатації та мають бути виконані для безумовного вирішення поставлених завдань.

Розрізняють дві групи газогідродинамічних методів дослідження: перша полягає у вивченні процесу усталеної (метод стаціонарного відбирання або закачування), друга – неусталеної фільтрації (методи відновлення тиску або рівня у свердловині).

Як показує практика, з найпоширеніших причин отримання недостовірних результатів досліджень є неточно визначений пластовий або вибійні тиски. У разі визначення вибійного тиску похибка здебільшого вносить людський чинник та метрологічні неточності вимірювальних приладів. Під час замірювання пластового тиску головною причиною неточностей є невідновлення останнього після зупинки свердловини поряд з використанням застарілих методик визначення пластового тиску розрахунковим способом. Тому хочеться детальніше зупинитися на проблематиці обробки та інтерпретації результатів досліджень, а особливо на методах

обробки даних відновлення пластового тиску як різновиду дослідження свердловин на неусталених режимах фільтрації.

Дослідження свердловин на неусталених режимах фільтрації полягає в зборі інформації (переважно глибинної) про тиски і дебіти в період зупинки стаціонарного режиму фільтрації (запис даних відновлення або падіння тиску).

Найпоширенішим у промисловій практиці є метод відновлення тиску (рівня) у свердловині після зміни режиму її роботи, або ж після припинення закачування чи відбирання продукції. Графіки зміни тиску на вибої свердловини, закритої для припинення відбирання чи закачування, отримали назву кривих відновлення тиску (КВТ).

До сьогодні в Україні більшою мірою застосовуються традиційні методи обробки результатів досліджень, детально описані в праці [1]. Проте за сучасного рівня свердловинного обладнання та програмного забезпечення виконання аналізів старими методами значною мірою стає недостатнім, а часом і некоректним. Новітні засоби – це серце сьогodнішньої сучасної методології, і саме вони, за замовчуванням, є основними методами обробки інформації.

Для того, щоб зрозуміти суть проблеми, яка постала перед нами, потрібно повернутися в минуле. Перші методи гідродинамічних досліджень свердловин були впроваджені в 1950-ті роки з використанням спеціальних графіків (графіки в напівлогарифмічному масштабі, Міллера-Дайса-Хатчінсона, Хорнера, рис. 1, 2) і спочатку фокусувалися на специфічному режимі потоку під назвою “нескінченний радіальний фільтраційний потік”, за якими можна було визначити продуктивність свердловини та основні колекторські властивості пласта. Пізніше були розроблені спеціальні графіки і для інших режимів потоку: лінійного, білінійного, псевдостаціонарного та ін.

У 1970-ті рр. на додаток до методики проведення прямих до кривої відновлення тиску були розроблені методи суміщення типових кривих (палетки). Принцип полягав у побудові кривої “відгуку” тисків на

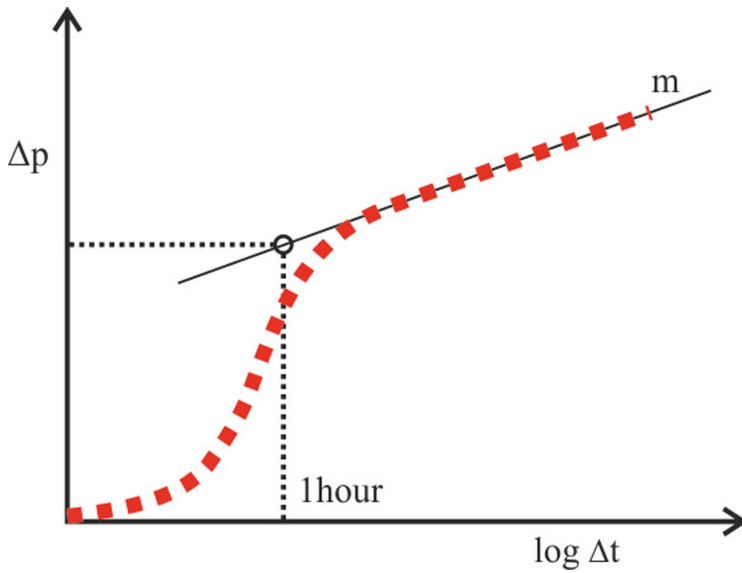


Рис. 1. Напівлогарифмічний графік Міллера-Дайса-Хатчінсона

подвійній логарифмічній шкалі на креслярській кальці і пересуванні цього графіка по типових кривих, доки не буде суміщення з однією з них. Фізичні результати обчислювалися з відносного положення кривої даних та обраної типової кривої:

– у палеточних кривих була дуже низька роздільна здатність через логарифмічний масштаб;

– палеточні криві взагалі не підходили для характеристик депресії, вигин характеристики внаслідок накладання зазвичай не враховувався. Узгодження палеточних кривих потребувало дуже тривалого і стабільного режиму видобутку перед закриттям;

– у разі розрахунку скін-ефекту аналіз для умови “нескінченного пласта” потребує досить тривалого періоду видобутку,

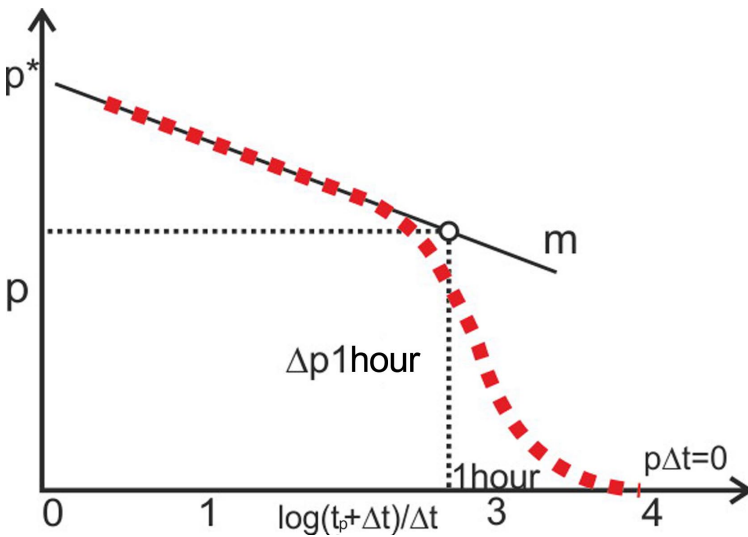


Рис. 2. Графік Хорнера

в іншому випадку рівняння визначення скін-чинника буде неправильним;

– було дуже просто прокреслити пряму через дві останні точки відновлення тиску і прийняти це за “нескінченний пласт” навіть у тих випадках, коли радіальний режим припливу не досягається.

Частина недоліків була знята на початку 1980-х рр., коли Домінік Бурде увів свою знамениту “похідну Бурде” (рис. 3) [2]. Похідна також стала початком того, що можна іменувати сучасною методологією із широким використанням узгодження з моделями за допомогою ПК, що стало ознакою кінця ери методології 1970-х років.

Поява похідної Бурде призвела до революції в підході до аналізу досліджень свердловин на нестационарних режимах фільтрації. Такий підхід дав більше поле огляду і примножив аналітичні можливості, однак і ускладнив діагностику. Висновки інтерпретації стало важче обґрунтовувати, оскільки диверсифікація різних аналітичних інтерпретаційних моделей могла адаптовувати дані вимірів із зовсім різними результатами.

Зміни тиску внаслідок руху флюїдів у стовбурі свердловини, розділення

фаз і температурні аномалії найчастіше сприймалися як результат чистого сигналу колектора і тлумачилися відповідно.

Виникла очевидна необхідність у роботі та впровадженні методу, що дає змогу інженеру проводити розмежування між репрезентативними даними щодо характеристики колектора і тією частиною, яка викликається результатом сигналу інших явищ.

Застосування похідної (рис. 4) під час визначення фільтраційних параметрів пласта дало можливість з великою вірогідністю визначати тип припливу флюїду до свердловини, а так само вплив багатьох чинників, які змінюють форму КВТ.

- Головними такими чинниками є:
- вплив об’єму стовбура свердловини;
 - подвійна пористість пласта;
 - наявність тріщин у привибійній зоні свердловини;
 - наявність слабопроникних і непроникних границь чи розломів у радіусі дронування свердловини;
 - геометричні параметри покладу.

Також варто правильно задаватися вихідними параметрами (ефективна товщи-

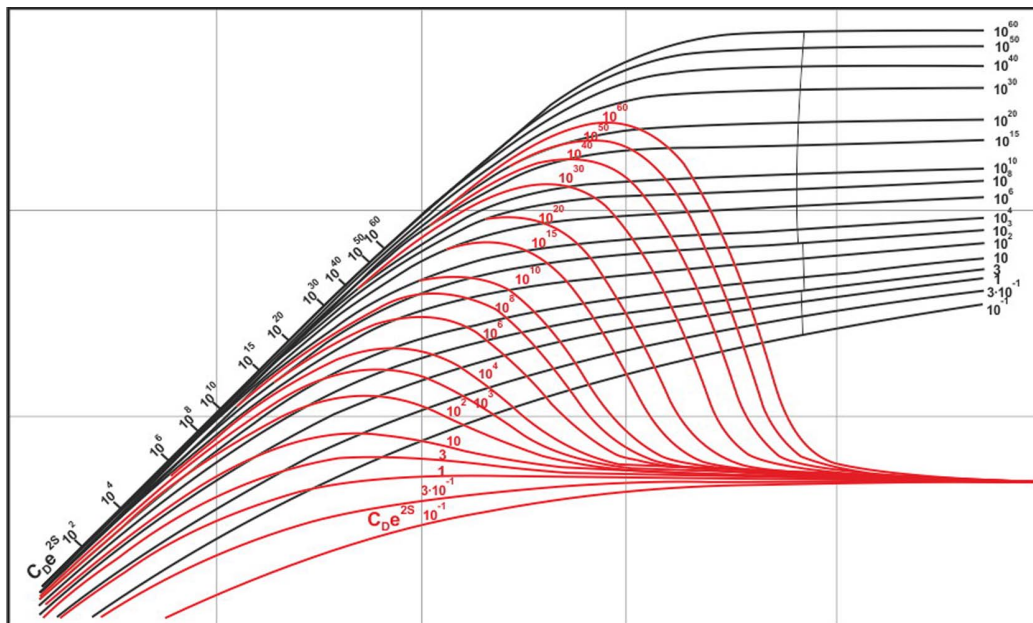


Рис. 3. Типові криві похідної Бурде

на пласта, відкрита пористість, анізотропія колектора, ступінь розкриття пласта та ін.), які так само можуть спотворити результати досліджень.

Головні методи опрацювання результатів досліджень уводили допущення про однофазний слабостисливий флюїд, для якого рівняння п'єзопровідності можна вважати лінійними. Іншими словами можна сказати, що всі вони були розроблені для рідинної фази. На жаль, газ, будучи однофазним флюїдом, не є слабостисливим, а його п'єзопровідність не є лінійним процесом. Для фільтрації газу розроблені спеціальні методи.

Розглянемо особливості дослідження свердловин, що розкрили пласти ущільнених колекторів. Ущільнені колектори характеризуються великою міцністю порівняно з традиційними, проте головною їх відмінністю є дуже низька проникність.

На практиці без стимулювання привибійної зони пласта не вдається отримати промислові припливи флюїдів з таких свердловин. Для поліпшення продуктивності свердловини існують два основних види впливу: кислотна обробка або гідравлічний розрив пласта (ГРП). Під час вибору способу обробки враховується безліч чинників, але загальне правило таке: висока проникність – кислотна обробка; низька проникність – ГРП.

Гідророзрив потребує закачування рі-

дини проти високого гідродинамічного опору, щоб вибійний тиск перевищив градієнт гідророзриву пласта. Операція так само обмежена максимальним тиском, на яку розрахована підвіска закінчення свердловини. З початком утворення тріщини головне підтримувати високий вибійний тиск закачуванням на високій швидкості рідини ГРП, щоб поширення тріщини йшло в напрямі, зворотному до пристовбурної частини свердловини. Під час ГРП до складу рідини розриву вводиться розклинювальний наповнювач (пропант), такий як пісок або керамічні кульки, щоб у разі випадання розклинювального агента поверхні штучних тріщин залишалися відкритими.

Зупинимося на ключових особливостях під час дослідження цього типу свердловин. Основною відмінністю від інших високопродуктивних свердловин є створення великої депресії на пласт, що зазвичай призводить до зміни фазового стану флюїдів, їх фізичних параметрів (в'язкість, коефіцієнт стиснення та ін.) і тривалого відновлення тиску після закриття свердловини.

Для того, щоб урахувати вплив зміни фізичних параметрів пластового газу (в'язкість, коефіцієнт стиснення та ін.) протягом усього періоду досліджень були розроблені деякі псевдофункції (псевдо-тиск, псевдочас та ін. (рис. 5)).

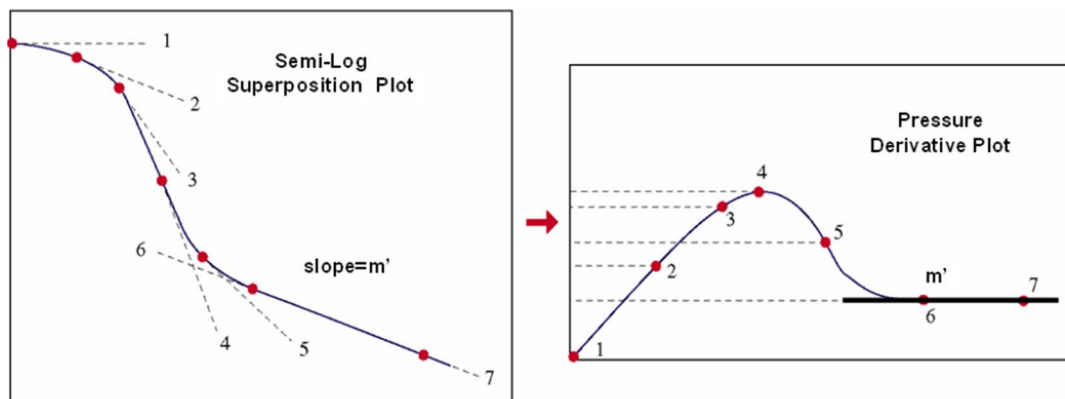


Рис. 4. Похідна Бурде в напівлогарифмічному масштабі та подвійному логарифмічному масштабі

Як бачимо, за тисків нижче 2000 psia добуток $\mu z \approx const$ і веде себе як квадратична функція тиску p^2 , натомість при значеннях тиску вище 3000 psia добуток μz є майже лінійною функцією p .

Заміна реального часу на функцію псевдочасу дає можливість для видозміни отриманих даних з урахуванням змінного об'єму стовбура свердловини і перетворення даних, які можна поєднувати з моделлю постійного об'єму стовбура свердловини. Принцип полягає в тому, що модель не суміщує дані, а швидше навпаки, дані суміщають модель. Під час використання псевдочасу та прийнятті рівняння п'єзопровідності ідея полягає в тому, щоб уводити у функцію часу частину, пов'язану з тиском, тобто множення в'язкості на коефіцієнт стиснення.

Під час дослідження свердловин, що розкрили газонасні ущільнені колектори,

необхідно користуватися новітніми методиками обробки результатів досліджень, які за правильного підходу дадуть можливість достовірно визначити:

- газопровідність, проникність, п'єзопровідність пласта;
- скін-фактор і коефіцієнт досконалості свердловини; наявність непроникних (слабопроникних) ділянок чи границь покладу;
- наявність як вертикальної, так і горизонтальної анізотропії пласта;
- геометричні розміри продуктивного пласта;
- справжнє значення пластового тиску.

Отже, правильний підхід до виконання польових досліджень свердловин і подальшої обробки отриманих даних за допомогою сучасних програмних комплексів дають можливість отримати достовірну інформацію, яка є базою для створення гідродина-

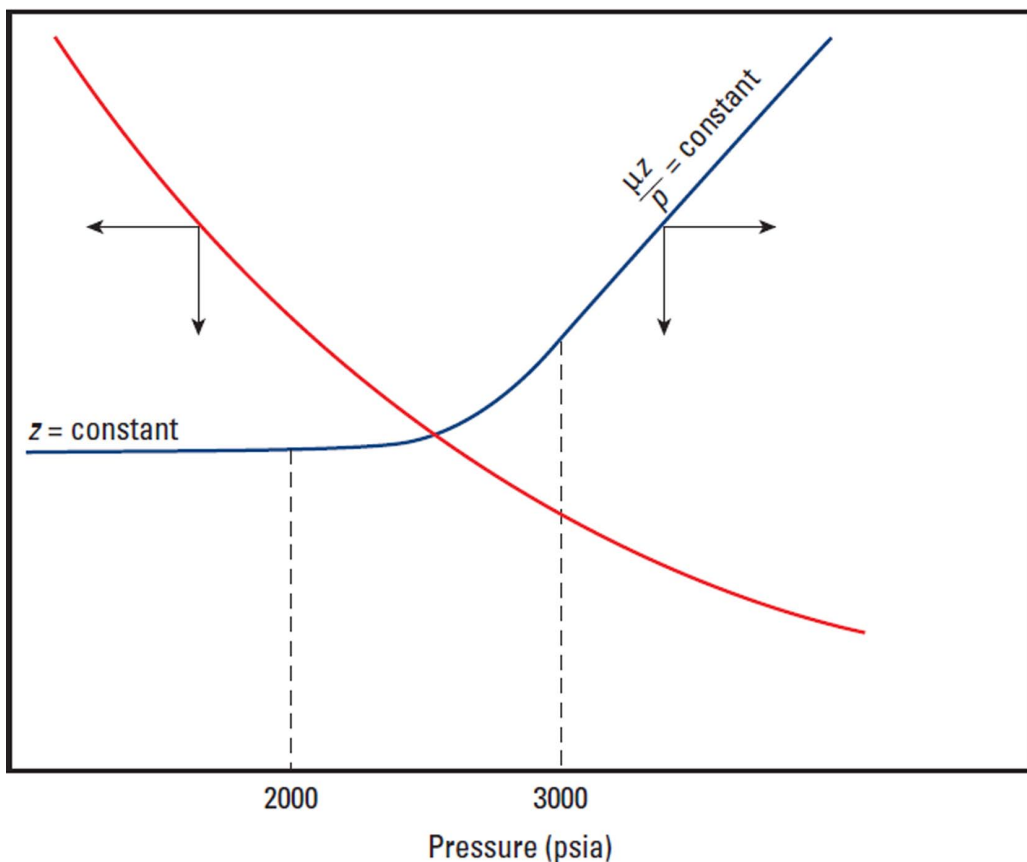


Рис. 5. Залежність фізичних параметрів газу від тиску

мічної моделі покладу, підрахунку запасів і ресурсів вуглеводнів, складання проектних документів на розробку експлуатаційних об'єктів, створення динамічної картини змін фільтраційно-ємнісних характеристик пластів-колекторів, стану пластової системи кожної конкретної свердловини і покладу загалом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин/Под ред. Г. А. Зотова, З. С. Алиева. – Москва: Недра, 1980. – 301 с.

2. Well test analysis the use of advanced interpretation models. – Dominic Bourdet, Paris: Elsevier, 2002. – 439 p.

REFERENCES

1. Z. S. Alieva, G. A. Zotova. Instructions complex research of gas and gascondensate reservoirs and wells. – Moskva: Nedra, 1980. – 301 p. (In Russian).

2. Well test analysis the use of advanced interpretation models. – Dominic Bourdet, Paris: Elsevier, 2002. – 439 p.

Рукопис отримано 28.01.2015.

О. Г. Голуб, olegprgp@mail.ru,

А. Ю. Приходченко, alex.prihodchenko@ukr.net,

Р. Б. Дворецкий, dvoreckiiroman@mail.ru

(Государственное предприятие “Украинский геологический научно-производственный центр”)

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН НА НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ФИЛЬТРАЦИИ, РАСКРЫВШИХ ЗАЛЕЖИ УПЛОТНЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

Рассматривается несовершенство имеющихся методик обработки результатов исследований на нестационарных режимах фильтрации и особенности исследования газонесных уплотненных коллекторов.

Ключевые слова: скважина, исследование, газ, месторождение, давление, пласт.

О. Н. Holub, olegprgp@mail.ru,

О. У. Pryhodchenko, alex.prihodchenko@ukr.net,

Р. В. Dvoretskyi, dvoreckiiroman@mail.ru

(State Enterprise “Ukrainian geological research and production center”)

DISTINCTIVE FEATURES OF WELL TRANSIENT TEST ANALYSIS IN TIGHT RESERVOIRS

With the purpose of receipt of reliable initial information for the counting of supplies of hydrocarbons, feasibility study of coefficients of oil-, gas-, gascondensate extracting, drawing up drafts experimental-industrial development, choosing of the technological regime of exploitation of wells, analysis and control after the processes of fields development, and also determination of factors which influence on productive description and exploitation conditions of wells and fields in general, the complex of initial and current researches of wells must be conducted necessarily. SE “Ukrnaukageocenter” has department of oilfield development and welltesting. The department has in its disposal all the necessary up-to-date equipments, at high professional level performed welltesting and interpretation of field materials. In the article the considered questions of today's problems of researches in welltesting. Looking through methods of interpretation materials of welltesting and given criticism of all previous methods of researches. Outlined imperfection of existing well transient test analysis methods and distinctive features of well testing in tight reservoirs. The correct approach to implementation of the well researches and subsequent processing of the received data by modern programmatic complexes give the possibility to get reliable information, which is a base for creation of hydrodynamic model of bed, counting of supplies and resources of hydrocarbons, drafting of project documents, for development of operating objects, creation of dynamic picture of changes, lauter-capacity descriptions of layers-collectors, state of the reservoir system of every specific well and the field in general.

Keywords: well, research, gas, field, pressure, reservoir.